

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 21/302

H01L 21/461



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01812334.1

[43] 公开日 2003 年 11 月 19 日

[11] 公开号 CN 1457504A

[22] 申请日 2001.6.6 [21] 申请号 01812334.1

[30] 优先权

[32] 2000. 6. 6 [33] US [31] 60/209,947

[86] 国际申请 PCT/US01/18413 2001.6.6

[87] 国际公布 WO01/95690 英 2001.12.13

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.6

[71] 申请人 EKC 技术公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 D·J·马洛尼 W·M·李

P·J·小罗曼 M·A·富利

R·H·希尔

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 沙捷 彭益群

权利要求书 8 页 说明书 44 页 附图 30 页

[54] 发明名称 电子材料的制造方法

[57] 摘要

本发明涉及构造硬掩膜。一个实施方案涉及到在直接形成图案的过程中把前驱体转化为顶表面图案层。本发明的另一个实施方案是在基底上形成刻蚀图案的方法。本发明的再一个实施方案是在基底上形成注入区的方法。优选的前驱体由一种金属络合物形成,该金属络合物含有至少一种配位体和至少一种金属,所述配位体选自乙酰丙酮化物、羧酸根、烷氧基、叠氮基、羰基、硝酸基、胺、卤素基、硝基和它们的混合物;所述金属选自 Li、Al、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Co、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、In、Sn、Ba、La、Pr、Sm、Eu、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Pb、Th、U、Sb、As、Ce、Mg 和它们的混合物。

ISSN 1008-4274

- 1.在基底上形成硬掩膜的方法，该方法包括如下的步骤：
选择至少一种前驱体材料；
在基底的顶上形成一层含有该前驱体的层；
5 将至少一部分该前驱体层进行转化；
将该前驱体层显影，由此在该前驱体层上形成图案，以及
将该图案转移到基底上，由此在形成图案时不使用光刻胶。
- 2.如权利要求1的方法，该方法进一步包括用显影剂把该前驱体层
10 的未转化部分显影去掉。
- 3.如权利要求2的方法，其中所述显影剂是液体显影剂，含有至少
一种醇和至少一种酮，其中存在的所有醇的总体积大于在该液体显影
剂中存在的所有醇的体积加上存在的所有酮的体积总和的50%。
15
- 4.如权利要求3的方法，其中至少一种醇是异丙醇，至少一种酮是
甲基异丁基酮，异丙醇和甲基异丁基酮的体积比大于大约1:1，而小于
大约40:1。
- 20 5.如权利要求1的方法，该方法进一步包括用显影剂显影去掉该前
驱体层的已转化部分。
- 6.如权利要求5的方法，其中所述显影剂是液体显影剂，含有至少
一种醇和至少一种酮，其中存在的所有醇的总体积大于在该液体显影
25 剂中存在的所有醇的体积加上存在的所有酮的体积总和的50%。
- 7.如权利要求6的方法，其中至少一种醇是异丙醇，至少一种酮是
甲基异丁基酮，异丙醇和甲基异丁基酮的体积比大于大约1:1，而小于
大约40:1。

30

8.如权利要求1的方法,该方法进一步包括从金属络合物中选择至少一种前驱体材料,该金属络合物包括至少一种配位体和至少一种金属,所述配位体选自乙酰丙酮化物、羧酸根、烷氧基、叠氮基、羰基、硝酸基、胺、卤素基、硝基和它们的混合物;所述金属选自 Li、Al、
5 Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Co、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、In、Sn、Ba、La、Pr、Sm、Eu、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Pb、Th、U、Sb、As、Ce、Mg 和它们的混合物。

9.在基底上形成硬掩膜的方法,该方法包括如下的步骤:
10 选择至少一种前驱体材料;
在基底的顶上任选形成一保护层;
在该保护层的顶上形成一层含有该未转化前驱体的层;
将至少一部分该未转化前驱体层进行部分转化;
基本上除去至少一部分未转化前驱体层,形成图案,以及
15 通过把至少一部分部分转化的前驱体层进行转化,形成硬掩膜。

10.如权利要求9的方法,该方法进一步包括用选自光、电子束辐照、离子束辐照和它们的组合的能源,通过包括至少一部分对该能源基本上透明的带图案掩膜进行部分转化的步骤。

20 11.如权利要求9的方法,该方法进一步包括使用显影剂基本上除去至少一部分未转化前驱体层。

25 12.如权利要求9的方法,该方法进一步包括使用选自光、电子束辐照、离子束辐照、热退火和它们的组合的能源进行转化而形成硬掩膜的步骤。

30 13.如权利要求9的方法,该方法进一步包括从金属络合物中选择至少一种前驱体的步骤,该金属络合物包括至少一种配位体和至少一种金属,所述配位体选自乙酰丙酮化物、羧酸根、烷氧基、叠氮基、羰基、硝酸基、胺、卤素基、硝基和它们的混合物;所述金属选自 Li、

溶胶-凝胶法和其它旋压法。在这些方法中，在基底上涂布含有一种前驱体粒子的溶液，这些颗粒随后可转变为所需的膜成分。可以用旋涂或旋注的方法进行此溶液的涂布，此时将基底围绕一根轴旋转，同时将溶液滴到基底的中间。在进行这样的涂布以后，使涂布好的基底经

5 受高温处理，这样就把前驱体膜转变为所需材料的膜。因此，这些方法不允许直接成像以形成无定形膜的图案。相反，他们会产生由所需材料形成的无图案覆盖膜。这些方法与气相法相比，对设备的要求不那么苛刻，但对外界温度仍然有要求，以影响沉积膜向所需材料的转化。

10 在一种给覆盖膜形成图案的方法中，用光敏涂层涂布在覆盖膜上（一般是使用旋涂或其它溶液基的涂布方法，或者应用干光敏膜）。通过掩膜用特定波长的光使此光敏层进行选择性地曝光。曝光改变了光敏层曝光区的溶解性，使得能够用显影溶液选择性地除去曝光区或未曝光区。然后使用剩余的材料作为图案转移介质，或者叫刻蚀介质的

15 掩膜，此刻蚀介质在所需材料上形成出图案。在此刻蚀步骤之后，除去剩下的材料（从前的光敏材料），如果需要，清洗掉在刻蚀方法的过程中产生的所有副产物。

在基底上形成有图案薄膜的另一种方法中，可以如上所述为光敏材料形成图案。在形成图案以后，在形成了图案的材料（从前的光敏材料）的表面上可沉积上所需材料的保形覆盖层，然后将带有所形成图案的材料和所需材料覆盖膜的基底进行曝光，对从前的光敏材料进行腐蚀处理。此处理除去残留的原光敏材料，与其一起还除去了在表面上的一部分所需材料的覆盖膜。以这样的方式得到了所需材料的带图案膜，在此“揭层(liftoff)”方法中，刻蚀步骤不是必需的。然而，

20 仍然须要使用中间图案转移介质（光敏材料），这就是本方法的缺点。已知此“揭层”法对分辨率（最小尺寸）有严格的限制，这可由所需材料的图案来确定。此缺点严格地限制了此方法的用途。

因此很明显的是，沉积以后须要形成图案的覆盖膜都需要几个极其昂贵和困难的加工步骤。

30 在另外一个形成带图案膜的方法中，可以通过比如上述方法之一在一个比如用前面所述的刻蚀方法预先形成了图案的基底上沉积所需

氧化硅膜,在下面的有机层进行氧-等离子体刻蚀图案时,它可作为 TSI 层。由于方法和成本的限制,半导体和封装工业对甲硅烷基化的接受是无关紧要的。

膜在半导体加工中的另一个应用是形成硬掩膜,比如用于离子注入方法中。离子注入(ion implantation)法是公知使用的技术,比如在半导体织构中用于在基底上形成掺杂区(doped regions)。离子注入经常要求带图案的阻隔层,此层已知作为硬掩膜,此膜使待要注入的离子只导向预先确定的区域。比如,在 Shimizu 等人的 US5,436,176 的实施方案 1 中公开了一种在被氧化硅膜覆盖的硅基底上进行无掩膜注入的技术,据公开是用硼原子进行的三次注入。另外同一个专利在实施方案 3 中公开了在三次重复法中使用多重硬掩膜进行注入的方法,此方法依次包括如下步骤:在氧化硅膜覆盖的硅基底上形成掩膜、用含磷化合物进行注入,形成二次掩膜、用硼注入,以及最后进行退火。

正如在前面所讨论的,用这些方法中的任何一种形成硬掩膜都要求比较多的加工步骤。取消在刻蚀或离子注入前的某些步骤将是有益的,因为这将比如简化使用的方法,提高其效率以及降低其成本。

解决此问题的一个办法涉及使用光刻胶作为掩膜。然而,众所周知的是,对某些等离子体的刻蚀化学品,特别是用于有机层形成图案时,光刻胶的耐受性很低,这种有机层可作为中间保护层,或者作为低介电常数(低 K 值)的介电材料和低离子终止能,发现了日益增多的用途。因此,需要难以接受的厚掩膜,使得在遮掩层被完全腐蚀掉以前完成待形成图案的层的刻蚀,或者避免在基底上涂布了掩膜的区域进行了注入。另一个缺点是,被注入了离子的光刻胶非常难以从晶片上除掉。也尝试过用另外的办法解决此问题,比如先涂布一层硬掩膜,然后在硬掩膜的上面再涂布一层光刻胶层,然后在进行刻蚀或离子注入前形成上图案。在等离子体刻蚀或离子注入前,合并现有技术方法中公开的多个步骤中的某一些,或者甚至取消一种或几种,将有助于使这些方法简化。因此,在等离子体形成图案或离子注入方法中取消某些步骤的方法将是我们十分希望的。

作为制造金属和金属氧化物硬掩膜的廉价的方法,开发出了用于金属络合物前驱体沉积的本方法。此方法的一个实施方案,即光化学

金属有机化合物沉积法，涉及到使用金属络合物前驱体用的金属有机化合物，还涉及把金属有机化合物转化为金属或金属氧化物膜的方法，比如入射的辐射或热能。具体说，在此方法中，比如通过把金属有机化合物的前驱体溶解于适当的有机溶剂形成前驱体溶液，用任何已知的方法将其沉积在表面上，从而就把金属有机化合物前驱体涂布在表面上。然后通过部分转化方法和/或转化方法，比如在能源，如在光、离子束轰击、电子束轰击下曝光或在热处理或退火下曝光就把此前驱体至少部分转化为金属或金属氧化物层。因此，本方法在例如半导体和封装工业中具有用途。

10 Hill 等人的 US5,534,312 公开了一种在基底上制造带图案的含金属材料的不光刻胶的方法，该方法包括在基底表面上沉积一层金属络合物的无定形膜、把膜放置在选择的气氛中以及用电磁辐射，优选紫外线，任选经过掩膜对此膜被选择的区域进行曝光，以引起在此选择区的金属络合物发生光化学反应等步骤。然而，此参考材料没有设想使用带图案的含金属的材料作为硬掩膜来保护底层不受等离子体刻蚀环境的影响。

Thomson 等人的 US6,071,676 公开，其集成电路的制造方法引起所涂布化合物的降解，此时该化合物与辐射或离子束接触。换句话说，发生化合物降解的沉积层的尺度正比于辐射束的聚焦宽度。据公开，20 此方法可达到纳米级的尺度。在化合物降解之处就形成了金属或其它导体物质的沉积层，然后可使用该方法直接在基底上制造集成电路。据说此沉积层优选是金属或者金属合金，此金属可以是金、锡或者铬，或者此沉积层可以是非金属或半金属导体，比如锗。在另外一方面，提供一种集成电路的制造方法，此方法包括在基底上涂布一种在辐射25 或离子束作用下会发生降解，得到导体的，优选是金属的沉积层、在该化合物的选择表面区域上照射辐射或离子束，以及从基底上去掉降解的化合物和未受影响的化合物。

本发明的方法能够提供带图案的硬掩膜，以此代替在传统的 TSI 法和离子注入法中使用的氧化物层和光刻胶层，而且通过减少必须进行的加工步骤数简化这些方法。本发明的另一个优点是，得到的材料30 具有更好的耐受等离子体刻蚀化学品的性能。这还赋予本发明另外一

在图 1 的步骤 2 中, 选择方案可以包括基底的清洗、阻隔层的沉积、粘接促进剂的沉积和/或使用活性层。

在图 1 的步骤 3 中, 选择方案可以包括涂布前驱体膜的方法、涂布前驱体时的气氛和/或沉积温度。

- 5 在图 1 的步骤 4 中, 选择方案可包括热处理、用电子束进行的处理、用离子束进行处理、用微波进行处理和/或使用特殊的气氛。

在图 1 的步骤 5 中, 选择方案可包括此膜是覆盖的、曝露的还是带有图案的, 或者是彼此混合的, 和/或使用特定的气氛。

- 10 在图 1 的步骤 6 中, 选择方案可包括热退火、使用微波处理、用电子束处理、用离子束处理、电镀和/或使用特定的气氛。

在图 1 的步骤 7 中, 选择方案可包括是使用湿技术还是干技术形成图案。

- 15 在图 1 的步骤 8 中, 选择方案可包括退火和/或使用特定的气氛。在此步骤中, 形成的任何无定形膜也可以通过例如应用高温或各种其它成核技术, 如光诱发成核转化为多晶或结晶膜, 而且对于某些应用, 这可能是一个特别希望的步骤。

这些选择方案都是举例的性质, 都不是可以操作以影响所得到膜性能的选择方案的穷举性清单。下面将详细叙述本发明的特定的特征和实施方案。

- 20 当需要带图案的膜时, 在这里叙述的方法可以按光化学的方式方法进行, 用不着中间形成图案的材料, 比如光刻胶, 可以在环境条件下进行, 也可以在另外的条件下进行, 比如在空气或其它组成的气氛中和/或在不同的压力下, 比如在环境压力、高于或低于环境压力下, 可以结合使用其它的加工步骤, 都产生唯一的材料、层和结构。

- 25 当按照光分解的方式实施此方法时, 此方法基本在环境温度下实施, 而其它的现有技术方法则要求使用高温来进行图案转移, 此温度经常高于 100℃。从制造的观点出发, 此限制赋予了严格的加工上的制约, 限制了应用这些方法有关的器件组装时对使用材料的选择。

- 30 在基本上是环境压力下, 本发明的方法一般可以满意地进行。反之, 许多现有技术的沉积方法, 除了具有上述限制以外, 必须在高真空下进行, 要使用难以运行和维护的昂贵而复杂的设备。

本发明的方法使得能够很容易在基底上由前驱体材料形成薄层。

此前驱体含有专门设计的分子，使其能够在基底上均匀地涂布，得到的膜具有很高的光学性能，在本方法的情况下，就是有很高的光敏感度。前驱体分子的特性是很不同的——各种各样的通式为 M_aL_b 的金属络合物，含有至少一种金属 (M) 和至少一种或几种适当的配位体 (L)，即 a 和 b 都是至少为 1 的整数，这样的金属络合物是本发明所设想的。

如果使用多种金属，所有的金属原子可以是一样的，也可以不都是一样原子的和/或具有不同价，比如 BaNa Fe (II) Fe (III)，或者一些是一样的，而另外一些是不一样原子的和/或具有不同的价，比如 Ba_2Fe (II) Fe (III)。在任何情况下，金属 M 可以是碱金属或碱土金属，比如 Ba 或 Li、过渡金属，比如 Cr 或 Ni、主族金属，比如 Al 或 Sn 或镧系元素，比如 U 或 Th。优选每个金属独立地选自 Li、Al、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Co、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、In、Sn、Ba、La、Pr、Sm、Eu、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Pb、Th、U、Sb、As、Ce 和 Mg。

如果使用多种配位体，所有的配位体可以是一样的，也可以是不同的，或者一些是一样的，而另一些是不同的。在任何情况下，选择配位体都要使得可以形成基本上未转化的前驱体络合物，并具有如下的性能：

- 1) 可以以无定形的形式沉积在基底上；
- 2) 无定形的膜是稳定的，或者至少是亚稳定的；
- 3) 在吸收能量，例如所需能量的光子时，通过化学反应，此膜可转化为不同的含金属的材料，以及
- 4) 任何由能量诱发的化学反应的副产物应该是可以除去的，即应该有足够的挥发性，使得能够从膜中除去。

为了得到这些结果中的前两个，此络合物应该具有低的极性和低的分子间力。由于有机基团一般具有低的分子间力，在其外周具有有机基团的配位体倾向于满足前两个要求。如果吸收的能量是光，已知步骤 (3) 的化学反应就是光诱导反应。

基本上未转化前驱体的沉积膜是无定形的，或者至少是基本上无定形的。因此，为了制造阻碍结晶的金属络合物，配位体 L 优选使得

物半导体, 包括硅-锗和 III-V 和 II-VI 半导体、印刷和/或层压电路板基底、金属、陶瓷和玻璃。硅晶片、陶瓷基底和印刷电路板已经得到普遍应用。在将它们使用于本方法之前, 基底可以涂布上单层或多层涂层, 例如介电层、光刻胶、聚酰亚胺、金属氧化物、热氧化物、导体材料、绝缘材料、铁电体材料或在电子器件的结构中使用的其它材料。在用氧等离子体进行形成图案, 以及把前驱体材料用做 TSI 试剂的情况下, 底层适合是有机材料, 包括但不限于线形酚醛树脂、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、聚甲基戊二酰亚胺 (PMGI)、聚酰亚胺和聚对羟基苯乙烯 (PHOST)。

一旦形成了硬掩膜, 其中的金属原子在一定程度上会在随后的步骤中“撞”到底下的基底上, 这可通过仔细选择前驱体的配方条件和/或厚度加以克服。另外, 可以在基底和前驱体层之间使用任选的保护层, 在硬掩膜形成工艺完成以后, 它仍然可以对基底构成保护。在涂布前驱体或前驱体溶液以前, 基底上可任选涂布至少一层保护层。可以用本领域专业人员公知的各种方法在基底上涂布该保护层。当该方法包括离子注入步骤时, 特别希望该保护层。

在沉积前驱体膜之前制备该基底对所需的硬掩膜的最终性能可能具有明显的影响。因此, 例如某些表面性能可以是需要的, 反之可能是须要避免的, 这取决于所用的特定硬掩膜。基底制备可包括简单的清洗过程, 以从基底表面上除去不希望的物质, 在形成图案步骤之前, 沉积阻隔材料、沉积粘接促进材料或沉积活性材料, 用于诱发在所沉积材料膜中的化学变化, 例如偶联剂。

前驱体或前驱体溶液的涂布方法可根据基底的情况和打算的应用情况进行选择。为本领域专业人员公知的可用的涂布方法的某些例子包括旋涂、喷涂、滴涂和辊涂、压印、弯月面式涂布和各种油墨印刷方法, 例如喷墨(inkjet-type)的方法。可以选择涂布方法的各种变量以控制所沉积膜的厚度和均匀度, 尽可能减小边缘效应并减少在膜中形成空隙或针孔, 并确保在涂布过程中消耗的前驱体或前驱体溶液体积不比需要的更多。用最佳方法涂布前驱体膜会按照希望得到很光滑的膜。

沉积好的膜, 任选经受烘烤或真空的步骤, 在这些步骤中, 在沉

离子体刻蚀化学品在基底 200 上形成出图案。这就得到如在步骤 3I 中所定义的图案特征。因此,从图 3 可以明显看出,对于制造带图案的硬掩膜,传统的方法,例如通过带图案掩膜的离子注入技术与本发明的方法相比,需要更多的步骤。

5 图 4 说明本方法的一个优选实施方案,用来制造硬掩膜,使用的是金属络合物前驱体,形成带图案的硬掩膜,该方案去掉了与硬掩膜刻蚀有关的所有步骤,即上述步骤 3C 到步骤 3G。在步骤 4A 中,如在图 2 中所说明供应基底 300。在步骤 4B 中,在基底 300 的顶上形成了一个前驱体层 310,即含有金属络合物的层。在步骤 4C 中,通过胰脂酶 320 使前驱体 310 对部分转化方法,在该为光 315 曝光。掩膜 320 包括具有对部分转化方法基本上不透明区域 340 的透明玻璃基底 330。对部分转化方法 315 曝光的部分前驱体 310 被至少部分转化或反应,形成部分转化前驱体 350 的区域。在步骤 4D 中,整个组装体被曝露于去除方法(未显示),例如液体显影剂中。通过显影剂或去除方法除去基本上未转化前驱体 310,曝露出基底 310,同时把部分转化而又耐受去除方法的部分转化前驱体 350 被保留下来。在步骤 4E 中,对部分转化前驱体施加转化方法(未显示),形成基本上完全转化的前驱体 360,即带图案的硬掩膜。该转化可通过例如漫射光曝光步骤或热退火步骤来实现。在步骤 4C 和 4E 的每一步中,如果已转化前驱体 360 是介电膜,优选在氧存在下进行转化;而如果已转化前驱体 360 是金属膜,则优选在还原性气体存在下进行。在步骤 4F 中,刻蚀方法给基底形成上图案,在该该刻蚀方法选择是等离子体刻蚀化学品,它能够刻蚀基底 300,但不能刻蚀掩膜层 360。这样就形成了如在步骤 4G 中所定义的图案特征 390。

25 图 5 说明例如通过一般已知作为顶上甲硅烷基化形成影像的方法在光刻胶上形成 TSI 的现有技术的方法。在步骤 5A 中,提供一个基底 400。在步骤 5B 中,在基底 400 上涂布一层适合于进行顶上甲硅烷基化的光刻胶层 410。在步骤 5C 中,通过掩膜 435 使光刻胶层 410 对光 430 曝光。掩膜 435 包括一个具有对曝光方法基本上不透明的区域 450 的透明玻璃基底 440,从而阻挡一部分光,在光刻胶层的曝光部分 432 30 上形成图案。作为该曝光的结果,给予已曝光的光刻胶区不同的化学

在涂铝的硅晶片上旋涂上大约 7000Å 的前驱体在己烷中的溶液，该前驱体设计其在在至少部分转化后会得到 BST 膜。通过将 3.7gTi(二(乙酰丙酮)二(异丙氧基))、2.8g2-乙基己酸钡和 5.6g2-乙基己酸根（在 2-乙基己酸中，浓度 40wt%）溶解于 182g 己烷中制备 BST 前驱体膜，
5 相当于 Ba:Sr:Ti(IV)的摩尔比为 1:0.8:1。通过热处理或者通过光分解材料把前驱体膜转化为 BST 膜。把得到的薄的 BST 膜制成膜电容器并测量膜的电性能。如同在下面的结果可以看出的，每种膜的介电常数和平均电导率都有着戏剧性的不同：

由热转化得到的 BST 膜

介电常数	4.66
平均电导率	0.009992S

由光化学转化得到的 BST 膜

介电常数	27.26
平均电导率	0.04311S

这些结果显示对于每个试样，在电性能上有着明显的差别，这
10 直接涉及到转化前驱体的制备方法。

实施例 5

在例如旋涂膜前驱体时，对溶剂的选择是重要的，因为它可以影响到膜的光学质量。例如，该实施例显示出，由含有用于转化为 BST 膜的前驱体在 MIBK 和正庚烷中的溶液浇注得到的膜，可得到很高的
15 光学质量，而从 PGMEA 的溶液就得到带斑纹的膜。

在这些溶剂的每一种当中，通过将前驱体溶解于溶剂，或者用所需的溶剂替代前驱体溶液中的一部分或全部溶剂。每种溶液都用旋涂法沉积在覆盖有铝的硅晶片上。硅晶片以 1500rpm 的转速旋转 30sec。在旋涂以后，在 110 的加热板上烘烤 2min，以除去任何残留的溶剂。
20 使用带有 220nm 冷镜的 Karl Suss MJB-3 型掩膜直线对准器以大约 1.2mW/cm² 的强度把前驱体膜转化为氧化物。每块晶片曝光 1.5hr，以确保完全转化。在转化以后，进行显影和去除步骤，这时用与旋涂试样同样的溶剂漂洗，洗掉每块前驱体膜的未转化、未曝光的部分。使用 VASE 测量在转化前（即未转化的）、刚刚在转化以后的和显影后的
25 膜厚度。

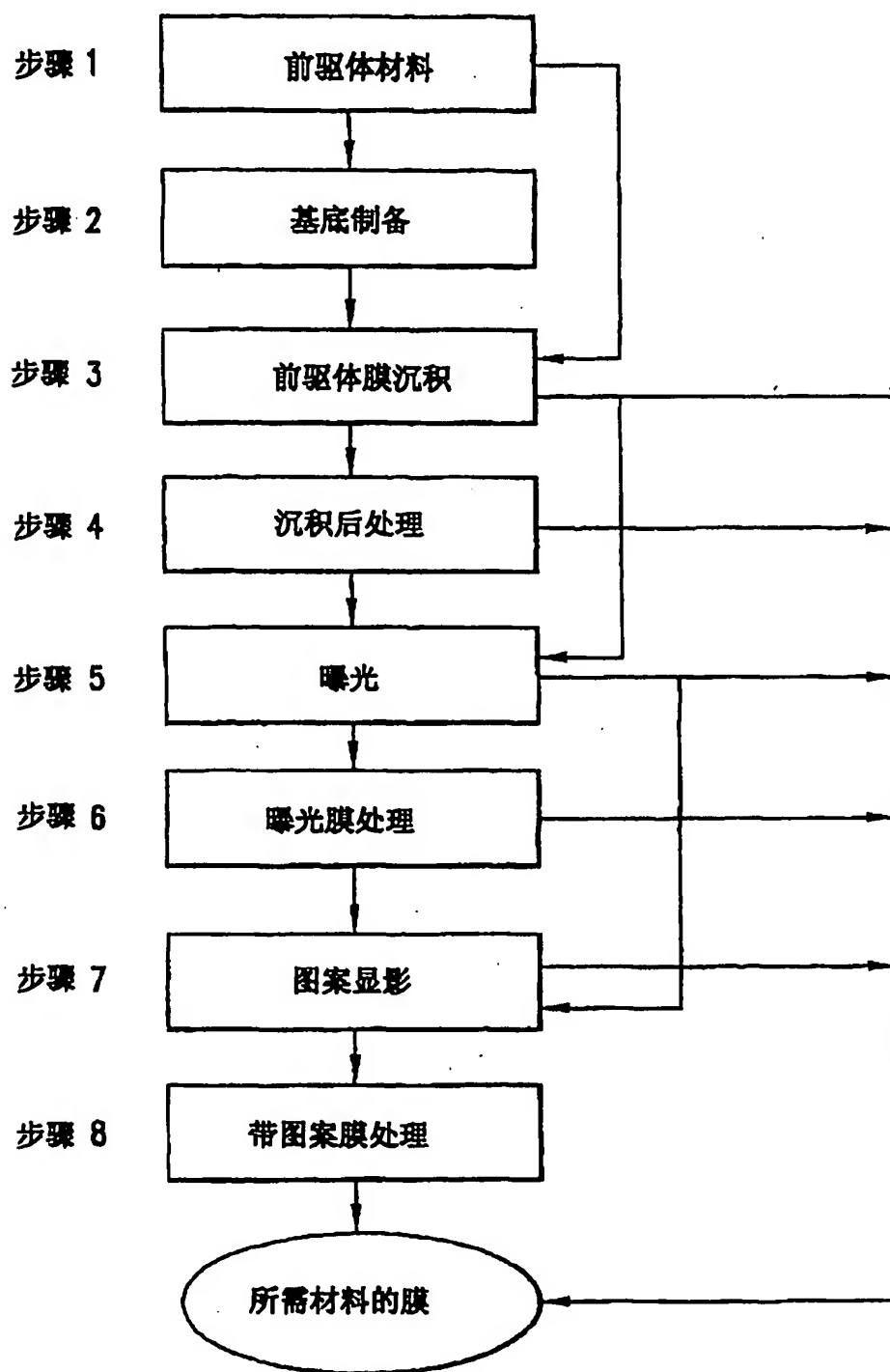
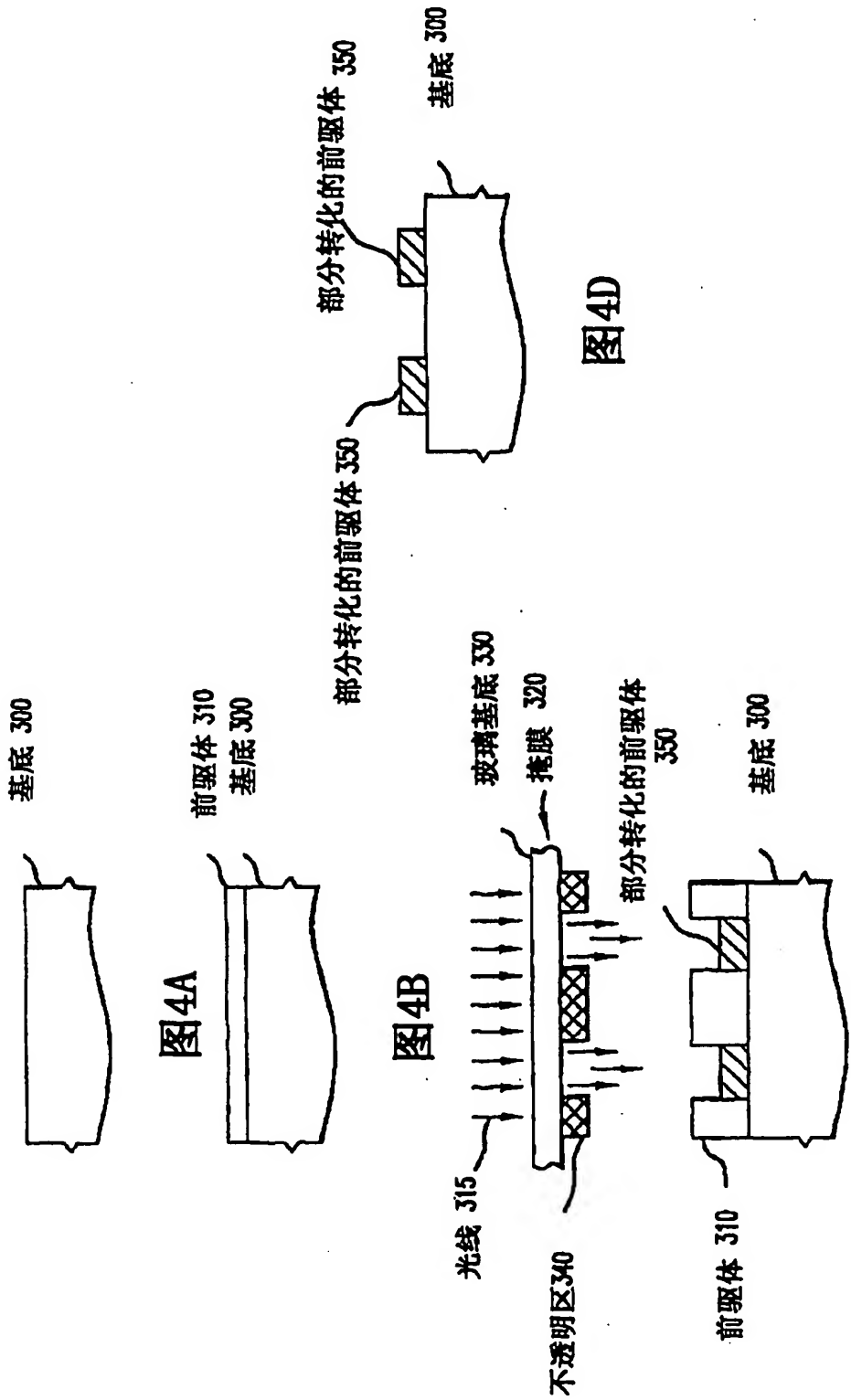


图1



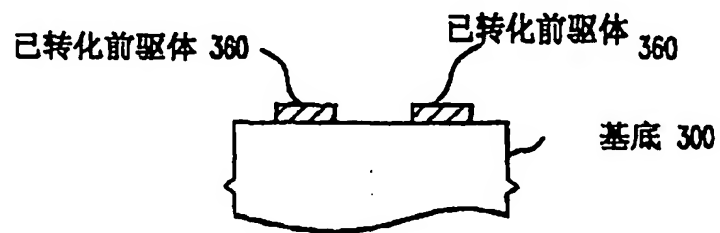


图4E

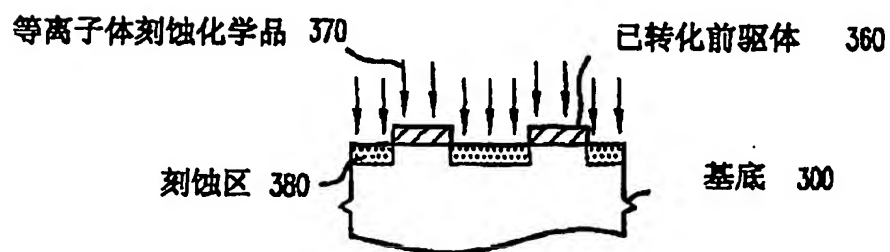


图4F

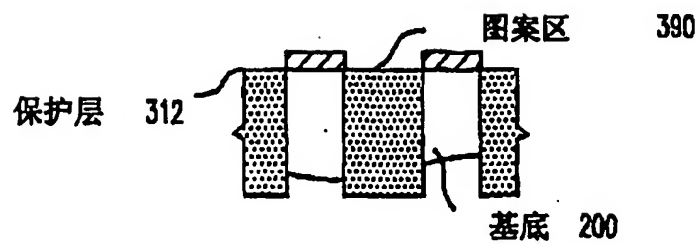


图4G